

PUFFER U.S.A.

Mod. C.E. - 1-4-7

MODULARIO  
100% V.O.

REC'D 23 DEC 2003

WIPO

PCT

# Ministero delle Attività Produttive

Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi EP03/12527

Ufficio G2

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:

Invenzione Industriale

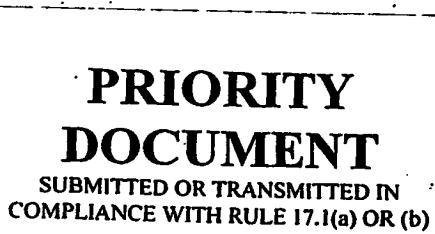
N.

MI2002 A 002383

EP/03/12527



Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati risultano dall'acchiuso processo verbale di deposito.



Roma, il ..... 30 OTT. 2003

per IL DIRIGENTE

Paola Giuliano

Dra.ssa Paola Giuliano

AL MINISTERO DELL'ATTIVITÀ PRODUTTIVE

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE, DEPOSITO RISERVE, ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO

A. RICHIEDENTE (I)

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

MODULO



SR

1) Denominazione

MILANO

codice

Residenza

2) Denominazione

codice

Residenza

B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome nome

cod. fiscale

denominazione studio di appartenenza

via n. città cap (prov)

via n. città cap (prov)

C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario Come sopra

via Bistolfi n. 35 città MILANO cap 20134 (prov) MI

D. TITOLO classe proposta (sez/cl/scd) gruppo/sottogruppo  
GENERATORE ELETROCHIMICO ALIMENTATO CON GAS REATTIVI A PRESSIONE PROSSIMA ALLA  
PRESSIONE ATMOSFERICA

ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO: SI  NO

SE Istanza: DATA

N° PROTOCOLLO

E. INVENTORI DESIGNATI cognome nome

cognome nome

1) TORO Antonino

1) 3) MERLO Luca

2) FACCHI Daniele

4)

F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione	tipo di priorità	numero di domanda	data di deposito	allegato S/R
1)			10/10/02	
2)			10/10/02	



SCIOLGIMENTO RISERVE

Data N° Protocollo

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

10/10/02

## RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE, DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

NUMERO DOMANDA MI2002A 002383

REG. A

NUMERO BREVETTO

DATA DI DEPOSITO 10.11.2002

DATA DI RILASCIO 11/11/1111

## D. TITOLO

Generatore elettrochimico alimentato con gas reattivi a pressione prossima alla pressione atmosferica

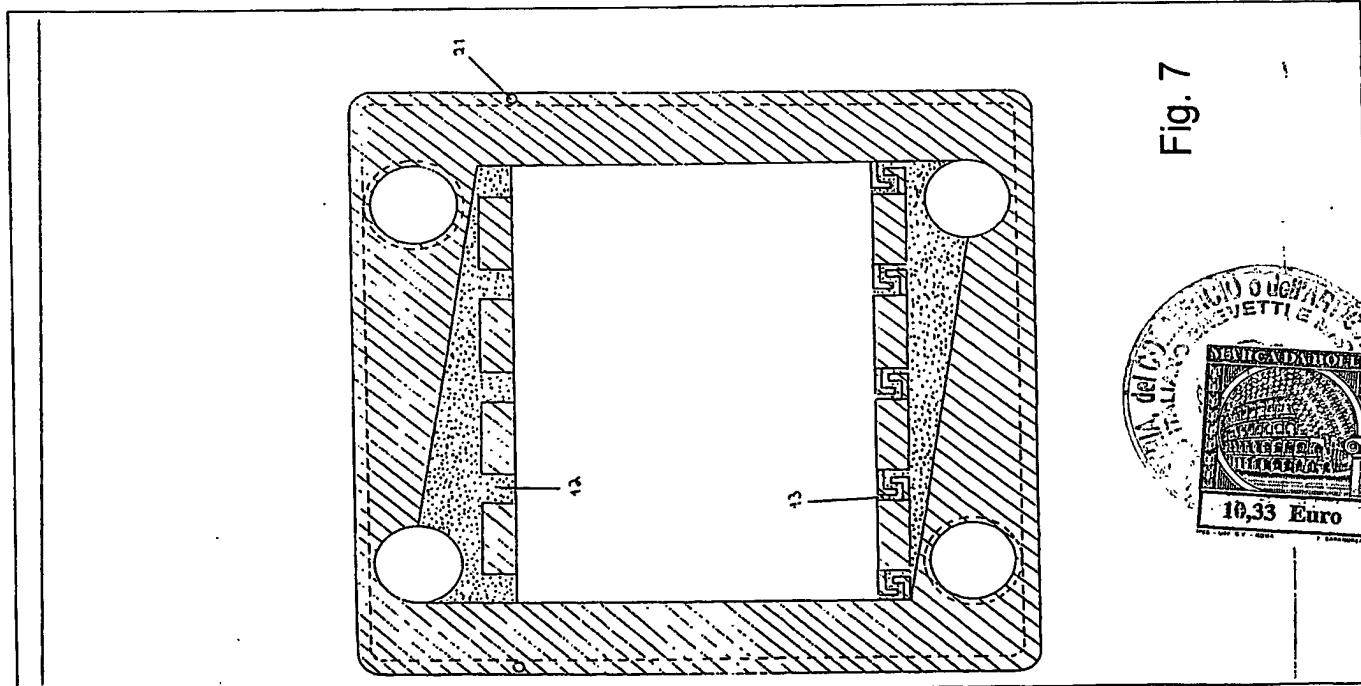
## E. RIASSUNTO

La presente invenzione descrive un generatore elettrochimico alimentato con gas reattivi, e in particolare una cella a combustibile alimentata con gas contenente idrogeno e aria a pressione prossima a quella atmosferica.

Il generatore elettrochimico è caratterizzato da asimmetria delle perdite di pressione localizzate nei canali di distribuzione e di raccolta, dove in particolare la perdita di pressione concentrata nei canali di raccolta è sostanzialmente superiore a quella concentrata nei canali di distribuzione. Inoltre la pressione nelle aree attive del generatore è praticamente coincidente con quella di alimentazione.

Questo risultato viene ottenuto differenziando il disegno dei canali di distribuzione rispetto a quello dei canali di raccolta, di cui viene diminuita la sezione di passaggio e/o aumentata la lunghezza e/o diminuito il numero.

## M. DISEGNO



M/

## DESCRIZIONE DI INVENZIONE INDUSTRIALE

A nome NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

MI 2002 A 002383

La presente invenzione è relativa al campo dei generatori elettrochimici a membrana, e più in particolare dei generatori costituiti da celle a combustibile a membrana polimerica che realizzano processi di conversione di energia chimica in energia elettrica.

In particolare, l'invenzione è relativa ad un disegno di cella che aumenta l'efficienza delle celle a combustibile a membrana polimerica, utile soprattutto per l'esercizio in condizioni di bassa pressione operativa.

Per una migliore comprensione, l'invenzione sarà descritta facendo riferimento ad alcune figure, che ne esemplificano alcuni modi di realizzazione, senza costituire una limitazione della sua portata.

In particolare, le figure da 1 a 4 sono relative a generatori elettrochimici dell'arte nota; le figure da 5 a 7 sono relative ad alcune realizzazioni preferite dell'invenzione; la figura 8 riporta un confronto di dati operativi relativi a celle dell'invenzione e dell'arte nota.

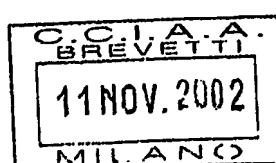
La fig. 1 mostra un generatore elettrochimico che comprende celle a combustibile a membrana polimerica.

Le figg. 2A e 2B mostrano due possibili modi di distribuzione dei gas reattivi alle celle a combustibile di un generatore elettrochimico.

La fig. 3 schematizza la distribuzione delle pressioni in una cella a combustibile.

La fig. 4 mostra un disegno di guarnizione secondo l'insegnamento dell'arte nota.

Le figg. 5, 6 e 7 mostrano disegni di guarnizione secondo alcune



*llr*

realizzazioni preferite della presente invenzione.

La fig. 8 mostra curve di polarizzazione mediate per le varie celle di un generatore elettrochimico secondo l'invenzione e secondo l'arte nota.

Un esempio di generatore elettrochimico è mostrato schematicamente in figura 1. Il generatore elettrochimico (1) è formato da una pluralità di celle elementari (2), di spessore piuttosto ridotto per minimizzare gli ingombri, che sono collegate fra loro in serie, in parallelo o in serie - parallelo e sono assemblate secondo una configurazione di tipo filtropressa. La prima di queste celle è rappresentata in una sezione trasversale che mostra i componenti interni.

Ciascuna cella elementare (2) converte l'energia libera di reazione di un primo reagente gassoso (combustibile) con un secondo reagente gassoso (comburente) senza degradarla completamente allo stato di energia termica, e pertanto senza soggiacere alle limitazioni del ciclo di Carnot. Il combustibile viene alimentato nella camera anodica di ogni cella elementare (2) ed è costituito ad esempio da una miscela contenente idrogeno, mentre il comburente è alimentato nella camera catodica delle stesse celle ed è costituito ad esempio da aria od ossigeno. Il combustibile viene ossidato nella camera anodica liberando contemporaneamente ioni  $H^+$ , mentre il comburente viene ridotto nella camera catodica, consumando ioni  $H^+$  con produzione di acqua. Una membrana a conduzione protonica che separa camera anodica e camera catodica permette il flusso continuo di ioni  $H^+$  dalla camera anodica alla camera catodica impedendo contemporaneamente il passaggio di elettroni. In questo modo, la differenza di potenziale elettrico che si crea ai

*llr*

capi della cella elementare (2) è massima.

Nel caso illustrato in figura, relativo ad un generatore con celle in connessione bipolare, ciascuna cella elementare (2) è limitata da una coppia di lastre bipolari conduttrive (3) fra le quali sono comprese la membrana (4) a conduzione protonica, una coppia di elettrodi porosi (5), una coppia di strati catalitici (6) depositati all'interfaccia fra la membrana (4) e ciascuno degli elettrodi porosi (5), a delimitare l'area attiva, una coppia di collettori/distributori di corrente porosi (7) che collegano elettricamente le lastre bipolari conduttrive (3) agli elettrodi porosi (5) e contemporaneamente distribuiscono i reagenti gassosi ed infine una coppia di guarnizioni di tenuta (8) destinate a sigillare la periferia della cella elementare (2). In alternativa la stessa funzione dei collettori/distributori di corrente (7) può essere esercitata da opportune scanalature, ad es. sotto forma di fasci di scanalature (noti come "flow-fields") frequentemente con andamento a serpentina, praticate sulle lastre bipolari (3) per lavorazione meccanica.

Nelle regioni superiori e inferiori delle lastre bipolari conduttrive (3) e/o nelle guarnizioni di tenuta (8) di ciascuna cella elementare (2) sono presenti fori, non mostrati in figura 1, che sono collegati alla camera anodica e alla camera catodica della cella stessa mediante canali rispettivamente di distribuzione e di raccolta, anch'essi non mostrati in figura 1.

L'accoppiamento fra questi fori che si determina al momento dell'assemblaggio dell'intero generatore elettrochimico, porta alla formazione di due condotti longitudinali superiori (9) e di due condotti



longitudinali inferiori (10). I due condotti longitudinali superiori (9), di cui uno solo è mostrato in figura 1, sono utilizzati per l'alimentazione dei reagenti gassosi (combustibile e comburente) mentre i due condotti longitudinali inferiori (10), di cui uno solo è mostrato in figura 1, permettono lo scarico dei prodotti di reazione (acqua) miscelati con gli eventuali reagenti residui (inerti gassosi e frazione di reagenti non convertita).

I condotti di alimentazione e di scarico terminano in corrispondenza di piastre terminali (11), dove sono presenti anche le connessioni idrauliche per collegare il generatore elettrochimico con il resto del sistema (non mostrate in figura 1). A seconda che gli ingressi e le uscite siano sulla stessa piastra terminale o su piastre opposte le distribuzioni dei gas di reazione sono di tipo con o senza inversione della direzione di flusso (note nella tecnica rispettivamente come "invertita" o "parallela") come mostrato nella schematizzazione di generatore elettrochimico rispettivamente di figura 2A e 2B.

Alternativamente, i condotti longitudinali inferiori (10) possono essere utilizzati come condotti di alimentazione ed i condotti longitudinali superiori (9) come condotti di scarico. E' anche possibile alimentare uno dei due reagenti gassosi attraverso uno dei condotti longitudinali superiori (9), utilizzando il corrispettivo condotto longitudinale inferiore (10) per lo scarico ed alimentare l'altro reagente gassoso attraverso l'altro condotto longitudinale inferiore (10) utilizzando il corrispettivo condotto longitudinale superiore (9) per lo scarico.

I reagenti gassosi sono poi distribuiti ad ogni cella elementare (2).



*ML*

attraverso canali di distribuzione, mentre attraverso canali di raccolta sono estratti i prodotti di reazione e gli eventuali reagenti residui provenienti da ciascuna cella elementare (2).

Come accennato precedentemente, alle due estremità dell'assieme di celle elementari (2) sono presenti due piastre terminali (11) che delimitano il generatore elettrochimico (1): nel caso di distribuzione invertita dei gas di reazione i bocchelli, necessari per la connessione dei condotti longitudinali superiori ed inferiori (9) e (10) alle tubazioni di adduzione dei gas di reazione e di estrazione dei gas esausti e dei prodotti di reazione, sono tutti localizzati su una sola delle due piastre (11). Inoltre, entrambe le piastre (11) sono provviste di appositi fori (anch'essi non mostrati in figura 1) per l'alloggiamento di tiranti tramite i quali viene realizzato il serraggio del generatore elettrochimico (1).

Il generatore elettrochimico (1) deve avere tutte le celle elementari che lo costituiscono alimentate costantemente e in modo equivalente con i gas di reazione e la distribuzione fluidodinamica deve perciò essere studiata in modo che la portata dei gas reagenti si ripartisca in modo sostanzialmente uniforme fra ogni cella.

E' noto dalla tecnica che, per ottenere un flusso omogeneo attraverso ogni cella elementare, si deve garantire che la perdita di carico, cioè come mostrato in figura 3 la differenza o caduta di pressione  $\Delta P$  tra il punto di entrata dei canali di distribuzione (12) (pressione uguale a  $P_1$ ) e il punto di uscita dei canali di raccolta (13) (pressione uguale a  $P_2$ ), risulti superiore ad un certo valore minimo critico e che in particolare nel caso della distribuzione dei fluidi di tipo invertito tale valore risulti anche

*MLV*

largamente superiore alla caduta di pressione nei condotti. La figura 3 rappresenta una vista frontale di una guarnizione di tenuta (8) nel cui spessore sono ricavati i canali di distribuzione (12) e i canali di raccolta (13): questi canali mettono in comunicazione l'area attiva di ogni cella elementare con i fori 14 e 15 il cui accoppiamento nel generatore elettrochimico porta alla formazione rispettivamente dei condotti longitudinali superiori (9) e inferiori (10).

Il termine  $\Delta P$  risulta costituito dalla somma di vari contributi, vale a dire cadute o perdite di pressione localizzate (imbocchi, sbocchi, curve, allargamenti e restringimenti delle sezioni di passaggio) e distribuite (lungo i diversi canali che formano il percorso del gas). I contributi variano naturalmente al variare della geometria della cella di reazione. Solitamente per celle munite di flow-fields per la distribuzione dei gas le perdite di pressione sono alte e distribuite lungo le scanalature che formano le serpentine dei flow-fields. In questa situazione le perdite di pressione localizzate nei canali di distribuzione e di raccolta sono usualmente minimizzate, ricorrendo ad ampie sezioni di passaggio. Al contrario nel caso di celle equipaggiate con collettori/distributori porosi, le perdite di pressione nel collettore/distributore poroso sono trascurabili. Siccome in base a quello che si è detto prima è necessario avere comunque un  $\Delta P$  minimo, l'equalizzazione del flusso di gas attraverso le varie celle elementari può solo essere ottenuta aumentando le perdite di pressione localizzate nei canali di distribuzione e di raccolta. L'obiettivo è usualmente realizzato nella tecnica nota riducendo il numero e le dimensioni dei canali sia di distribuzione sia di raccolta e/o aumentandone

*Mil*

la lunghezza, al fine di raggiungere la perdita di pressione necessaria. Questo disegno interno, anche se efficace nel realizzare una uniforme distribuzione di portata dei gas attraverso le singole celle elementari, non risulta sempre soddisfacente, poiché la perdita di pressione localizzata nei canali di distribuzione situati nella regione di entrata delle celle elementari, quantificabile in almeno alcune decine di millibar, preferibilmente da uno a due centinaia di millibar, determina una riduzione della pressione nella zona dell'area attiva di ciascuna cella elementare rispetto alla pressione di consegna dei gas, sostanzialmente rappresentata dalla pressione all'interno dei condotti di alimentazione. Questo dato di fatto ha importanza solo marginale quando il generatore elettrochimico opera a pressioni nettamente superiori a quella atmosferica, ma diventa significativo quando la pressione di esercizio è mantenuta prossima a quella atmosferica, tipicamente nell'intervallo da 1.02 a 1.50 atmosfere. La ragione di questo comportamento è subito chiara se si ricorda che la prestazioni dei generatori elettrochimici alimentati con reattivi gassosi dipendono appunto dalla pressione e che, a parità di diminuzione della pressione, l'effetto è tanto più rilevante quanto minore è la pressione di funzionamento. Il funzionamento a bassa pressione è ritenuto particolarmente interessante dagli esperti del campo in quanto consente di eliminare sia i compressori dei gas con gli associati consumi di energia sostituendoli con più modesti ventilatori, sia i complessi e costosi espansori che sono necessari per recuperare, con l'espansione dei gas esausti scaricati dal generatore elettrochimico, almeno parte del lavoro di compressione. E' comunemente riconosciuto

AVV

che i sistemi operanti a pressione prossima a quella atmosferica richiedono minore investimento di capitale, impiegano parti meccaniche di già largo uso industriale e per questa ragione risultano sostanzialmente affidabili.

In considerazione di questa situazione la presente invenzione è diretta alla realizzazione di un disegno di generatori elettrochimici costituiti da celle elementari equipaggiate con distributori/collettori porosi che superi le limitazioni dell'arte nota permettendo di ottenere una uniforme distribuzione dei gas di reazione anche nel caso si operi a pressione prossima a quella atmosferica.

Secondo un primo aspetto la presente invenzione è relativa ad un generatore elettrochimico costituito da una molteplicità di celle elementari dotate di collettori/distributori porosi, nelle quali le perdite di pressione localizzate rispettivamente nei canali di distribuzione dei reattivi gassosi e nei canali di raccolta dei prodotti di reazione e dei residui sono asimmetriche.

In un secondo aspetto della presente invenzione le perdite di pressione asimmetriche nei canali di distribuzione e di raccolta sono stabilite in modo che la perdita di pressione nei canali di raccolta sia sostanzialmente superiore alla perdita di pressione nei canali di distribuzione.

In un terzo aspetto dell'invenzione la pressione in corrispondenza dell'area attiva di ogni cella elementare risulta sostanzialmente prossima alla pressione dei condotti di alimentazione.

Il funzionamento ottimale dei generatori operanti a pressione





prossime a quella atmosferica è particolarmente critico in quanto, come è noto ai tecnici del campo, esso dipende in modo molto pronunciato dal valore effettivo di pressione che si stabilisce nella zona attiva di ciascuna cella elementare, valore che deve essere il più elevato possibile. D'altra parte, come è stato precedentemente ricordato, i collettori/distributori porosi attraversati dai flussi di gas di reazione, sono caratterizzati da minime perdite di pressione e per assicurare una uniformità di alimentazione dei gas di reazione in tutte le celle elementari è obbligatorio aumentare le perdite di pressione esterne all'area attiva della celle elementari concentrandole nei canali di distribuzione e di raccolta. Poiché per entrambi i tipi di canali la tecnica nota descrive disegni simmetrici, le perdite di pressione localizzate nei canali di distribuzione risultano necessariamente uguali a quelle localizzate nei canali di raccolta ed hanno un valore non trascurabile, dell'ordine almeno di alcune decine di millibar. Poiché la pressione effettiva nell'area attiva delle singole celle elementari risulta data dalla differenza fra pressione di alimentazione (in pratica coincidente con la pressione nei condotti di alimentazione) e la perdita di pressione nei canali di distribuzione, ne risulta che il disegno simmetrico adottato dalla tecnica nota è in piena contraddizione con la necessità di mantenere un elevata pressione in corrispondenza delle aree attive delle singole celle elementari. D'altra parte, in questa situazione non è possibile recuperare il livello ottimale di pressione interna aumentando la pressione esterna di alimentazione: aumentare la pressione esterna significa infatti ricorrere a compressori in sostituzione di ventilatori convenzionali che sono componenti largamente utilizzati in una

*MM*

molteplicità di applicazioni, poco costosi come investimento e come esercizio e fondamentalmente affidabili. I compressori, al contrario, sono macchine più complesse, con costi di esercizio nettamente più elevati e con affidabilità certamente minore in particolare per il campo di portate di gas richiesto dai generatori elettrochimici. Il motivo per cui nella tecnica nota sono usualmente descritti disegni simmetrici dei canali di distribuzione e di raccolta va probabilmente ricercato nella maggiore semplicità e affidabilità di assiemaggio delle celle elementari in un generatore elettrochimico. Se infatti le guarnizioni di tenuta hanno disegno simmetrico, una loro eventuale rotazione attorno all'asse orizzontale non comporta problemi particolari per le celle elementari coinvolte nel successivo funzionamento: i canali di raccolta che verrebbero a trovarsi nella posizione superiore non determinerebbero alcuna alterazione del funzionamento essendo in pratica indistinguibili dai canali di distribuzione ora localizzati in basso.

La presente invenzione descrive un generatore elettrochimico le cui celle elementari sono caratterizzate dall'avere un disegno asimmetrico dei canali di distribuzione e di raccolta. Più in particolare il disegno asimmetrico proposto dall'invenzione permette di trasferire tutta o essenzialmente tutta la perdita di pressione necessaria per assicurare una uniforme alimentazione dei gas di reazione sui canali di raccolta.

Questo risultato viene ottenuto con almeno uno dei seguenti provvedimenti applicati ai canali di raccolta: riduzione della sezione di passaggio, aumento della lunghezza, diminuzione del numero.

Contemporaneamente possono essere applicate ai canali di

*MS*

distribuzione modificate sostanzialmente speculari rispetto ai provvedimenti sopra elencati, consistenti in particolare nell'ampliamento della sezione di passaggio e/o nell'acorciamiento della lunghezza e/o nell'aumento del numero.

In conseguenza dell'adozione del disegno asimmetrico è possibile fissare i valori delle cadute di pressione rispettivamente a pochi millibar per i canali di distribuzione e a decine di millibar, preferibilmente da una a due centinaia di millibar, per quelli di raccolta.

Le figure 5, 6 e 7 schematizzano il nuovo disegno proposto dall'invenzione per i canali di distribuzione e di raccolta confrontato in figura 4 con quello noto nella tecnica corrente. Le figure si riferiscono al caso in cui i canali di distribuzione e di raccolta sono ricavati nello spessore delle guarnizioni di tenuta (8). E' chiaro che disegni del tutto simili sono applicabili al caso in cui i canali di distribuzione e di raccolta siano ricavati nello spessore delle lastre bipolari (3) o nello spessore di eventuali guarnizioni di tenuta stampate sulle lastre bipolari a costituire un componente unico integrale.

La figura 4 presenta una vista frontale di una guarnizione di tenuta (8) secondo le indicazioni della tecnica nota, in particolare è rappresentata una vista della faccia destinata ad essere posta in contatto con la rispettiva lastra bipolare, dove (16) identifica la sezione di collegamento fra canali di distribuzione (12) e fori (14), (17) la sezione di collegamento fra canali di raccolta (13) e fori (15). Tali sezioni e i rispettivi canali sono ricavati nello spessore delle guarnizioni (8) e pertanto giacciono in un piano incassato per una certa profondità rispetto alla

MIZ

superficie di tenuta. I canali risultano definiti dalle porzioni (18) la cui superficie è complanare con quella di tenuta: queste superfici complanari sono identificati per una migliore comprensione con tratteggio, mentre il piano delle sezioni (16) e (17) e dei canali di distribuzione (12) e (13) è caratterizzato con puntinatura. Le sezioni (16) e (17) possono essere dotate di costolature (non rappresentate in figura 4) o di riempimento costituito da frammenti di materiale poroso a bassa perdita di pressione analogo a quello utilizzato per i collettori/distributori con lo scopo di assicurare indeformabilità anche sotto la pressione determinata dal serraggio delle celle elementari nel generatore eletrochimico. Con (19) è identificata l'area attiva che è occupata dall'insieme elettrodi porosi – strati catalitici – membrana non raffigurato in figura 4. Infine (20) rappresenta un codolo in rilievo rispetto alla superficie di tenuta destinato a prevenire rilasci verso l'esterno dei gas di reazione e dei prodotti.

Come si nota il disegno dei canali distributori e dei canali di raccolta, corrispondente a quanto proposto dalla tecnica nota, è simmetrico essendo uguale la sezione di passaggio e il numero dei canali. Ciò comporta che durante il funzionamento la perdita di pressione che interessa ciascuna cella elementare sia equamente localizzata sui canali di distribuzione (12) e sui canali di raccolta (13). Poiché la perdita di pressione complessiva deve essere sostanziale per poter assicurare una uniformità di distribuzione come detto precedentemente, ne consegue che anche la sola porzione di perdita di pressione localizzata nei canali di distribuzione (12) è significativa: pertanto la pressione nelle aree attive delle varie celle elementari risulta sensibilmente inferiore alla pressione di





alimentazione con decadimento delle prestazioni.

La figura 5 rappresenta una prima realizzazione della presente invenzione, caratterizzata dal fatto di avere canali di raccolta (13) in numero uguale a quello dei canali di distribuzione (12) ma con sezione di passaggio diminuita. Dimensionando opportunamente le sezioni di passaggio dei canali di distribuzione (12) e dei canali di raccolta (13) è possibile ridurre la perdita di pressione nei canali di distribuzione (12) a valori trascurabili e contemporaneamente aumentare la perdita di pressione nei canali di raccolta (13) a valori che consentono di assicurare una uniforme distribuzione di portata dei gas nelle varie celle elementari. In questo modo si realizza l'importante obiettivo della presente invenzione di mantenere nell'area attiva una pressione praticamente coincidente con quella di alimentazione, come è particolarmente vantaggioso nel caso di funzionamento a pressione prossima a quella atmosferica.

Le figure 6 e 7 si riferiscono a due ulteriori realizzazioni della presente invenzione, in particolare basate sulla diminuzione del numero (figura 6) e sull'aumento della lunghezza (figura 7) dei canali di raccolta (13). In quest'ultimo caso la maggiore lunghezza viene ottenuta preferibilmente adottando un disegno a serpentina che consente di non aumentare la dimensione esterna delle guarnizioni di tenuta e delle celle elementari, come è importante per mantenere ingombri contenuti.

Anche in questo caso dimensionando opportunamente la sezione di passaggio dei canali di distribuzione (12) e il numero o la lunghezza dei canali di raccolta (13) è del tutto possibile minimizzare la perdita di pressione nei canali di distribuzione (12) concentrando la perdita di



pressione complessiva nei canali di raccolta (13). In tal modo si conseguono contemporaneamente i due risultati di continuare ad assicurare una uniforme distribuzione di gas fra le varie celle elementari e di mantenere nelle aree attive una pressione di esercizio praticamente coincidente con quella di alimentazione.

In particolare, assumendo come valori medi rappresentativi dei canali di distribuzione e di raccolta della tecnica nota  $10 \text{ mm}^2$  per la sezione complessiva di passaggio, 5 mm per la lunghezza e 5 per il numero, si è trovato che i risultati desiderati di caduta di pressione come sopra indicato sono ottenibili con le seguenti combinazioni esemplificative di modifiche applicate ai soli canali di raccolta:

a - sezione complessiva di passaggio:  $4 \text{ mm}^2$

lunghezza: 5 mm

numero: 2

b - sezione complessiva di passaggio:  $6 \text{ mm}^2$

lunghezza: 15 mm

numero: 3

c - sezione complessiva di passaggio:  $4 \text{ mm}^2$

lunghezza: 5 mm

numero: 5

Le modifiche di disegno dei canali di raccolta sopra indicate come puro esempio applicativo possono essere accoppiate a disegni immutati dei canali di distribuzione o in alternativa, quando si intenda minimizzare la perdita di pressione nelle aree attive, a disegni dei canali di distribuzione caratterizzati da aumento delle sezioni di passaggio e/o



riduzione della lunghezza e/o aumento del numero.

L'efficacia del disegno asimmetrico dei canali di distribuzione e di raccolta è stato dimostrato con l'esercizio di un generatore elettrochimico costituito da venti celle elementari equipaggiate di guarnizioni di tenuta provviste di canali di distribuzione in numero di 5, aventi sezione di passaggio complessiva di  $10 \text{ mm}^2$  e lunghezza di 5 mm e di canali di raccolta con disegno del tipo b sopra caratterizzato. Il generatore è stato alimentato in due prove distinte a 1.2 e 1.4 bar assoluti con idrogeno puro in eccesso del 10% rispetto al valore stechiometrico e con aria in eccesso di 2 volte rispetto al valore stechiometrico, mantenendo la temperatura interna intorno a  $70^\circ\text{C}$ . I risultati sono raccolti in figura 8 insieme a quelli caratteristici di un generatore elettrochimico del tutto analogo, ma con le guarnizioni di tenuta dotate di canali di distribuzione e di raccolta simmetrici, in ciascun caso in numero di 5 e con sezione complessiva di passaggio uguale a  $10 \text{ mm}^2$  e lunghezza uguale a 5 mm. Le prestazioni ottenute sono indicate dalle curve a linea continua a) e b) per il generatore secondo l'invenzione operante rispettivamente a 1.4 e 1.2 atmosfere, e dalle curve a linea tratteggiata c) e d) per il generatore secondo la tecnica nota. Come si nota, il generatore secondo la tecnica nota può dare prestazioni analoghe a quelle del generatore secondo la presente invenzione solo se la sua pressione di alimentazione viene innalzata di circa 0.2 atmosfere. Si è inoltre notato che le tensioni delle singole celle elementari del generatore secondo la presente invenzione erano raccolte entro una fascia ristretta di soli 30 millivolt a testimonianza dell'efficacia del disegno dei canali di raccolta secondo l'invenzione nel

rendere uniforme la distribuzione dei gas reattivi.

Una ulteriore ragione degli ottimi risultati ottenuti con questo disegno risiede probabilmente nell'aumentata efficienza di umidificazione dei gas reattivi, ed in particolare dell'aria, che è stata alimentata previa saturazione a 1.5 bar. Per una efficienza di saturazione prossima al 100%, si può ipotizzare che saturando l'aria a 70°C, la frazione molare di vapore acqueo sia circa pari a 0.2; prendendo in esame il caso dell'alimentazione a 1.4 bar, le celle dell'invenzione risentiranno effettivamente di tale pressione nell'area attiva, lavorando con una umidità relativa del 93% circa, mentre per le celle di disegno tradizionale, con perdite di carico distribuite uniformemente e non concentrate all'uscita, si può ipotizzare una pressione interna di lavoro di circa 1.2 bar (pressione relativa dimezzata rispetto a quella delle celle dell'invenzione), con una umidità relativa risultante dell'80% circa.

L'adozione del disegno asimmetrico secondo la presente invenzione comporta una maggiore attenzione nella fase di assemblaggio delle singole celle elementari nel generatore elettrochimico. Infatti in caso di rotazione di una o più guarnizioni attorno all'asse orizzontale si genererebbero una o più celle elementari in cui i canali (13) a elevata perdita di pressione si troverebbero posizionati nella parte superiore e non in quella inferiore cui sono destinati dal disegno. Queste celle sarebbero alimentate con la stessa portata di gas delle altre celle, ma avrebbero una pressione interna nell'area attiva largamente inferiore a quella di alimentazione con conseguente peggioramento delle prestazioni. Questo rischio, come precedentemente commentato, è evidentemente



assente con le guarnizioni simmetriche della tecnica nota. Il problema è tuttavia superabile adottando opportuni suggerimenti in fase di assemblaggio, ad esempio dotando le guarnizioni di tenuta di fori di centraggio simmetrici rispetto all'asse verticale ma asimmetrici rispetto all'asse orizzontale. In caso di rotazione della guarnizione lo spostamento dei fori di centraggio non permette più l'inserimento della guarnizione nelle spine di centraggio.

Questi fori sono identificati in figura 5, 6 e 7 con (21).

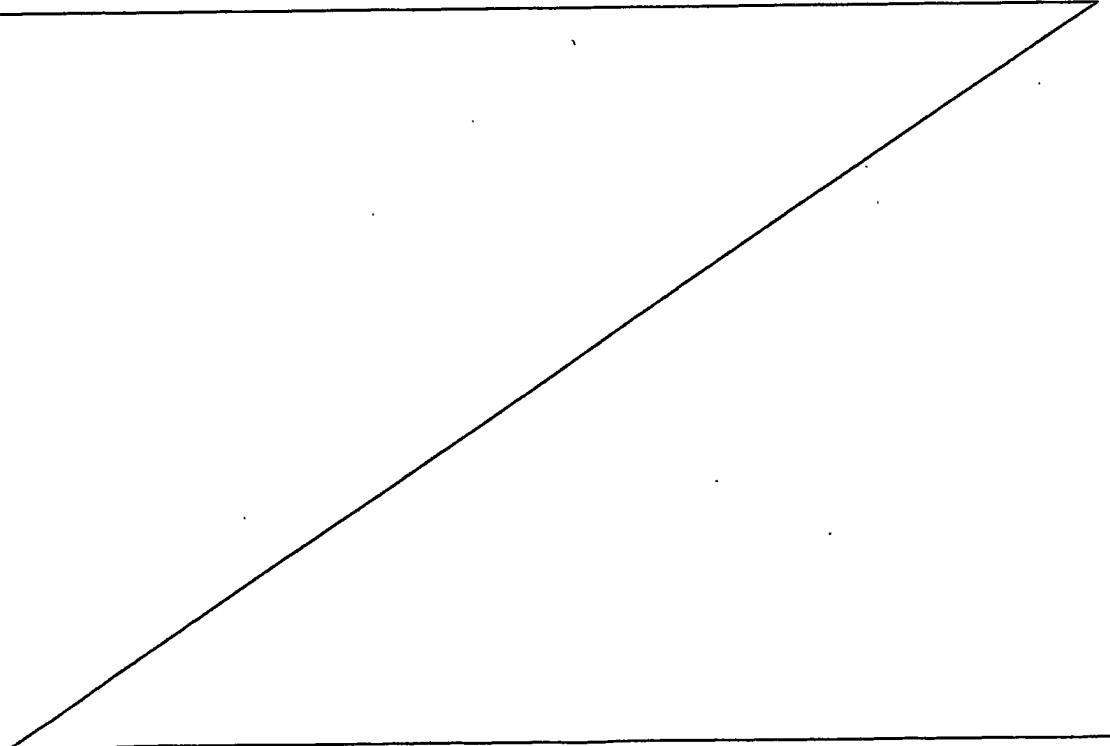
Oltre che per il beneficio dell'aumento della pressione interna nelle aree attive e dell'incrementata efficienza di umidificazione, la concentrazione della perdita di pressione lungo i canali di raccolta secondo la presente invenzione è ulteriormente vantaggiosa in quanto l'evacuazione dell'acqua condensata dalle aree attive è resa più efficace. Questo risultato è però controbilanciato dagli effetti delle forze capillari che diventano sempre più importanti al decrescere della sezione dei singoli canali di raccolta: si è notato che a causa di questa situazione piccole quantità di acqua liquida possono rimanere intrappolate in alcuni canali, probabilmente quelli che per effetto delle tolleranze di produzione risultano casualmente avere sezione particolarmente ridotta, con un conseguente irregolare flusso dei gas di scarico. Si creano così zone stagnanti all'interno delle celle elementari e disuniformità di portata fra le singole celle, con decadimento delle prestazioni. Si è trovato che questo inconveniente è completamente superabile se i canali di raccolta sono idrofobizzati, ad esempio mediante applicazione di una vernice di materiale idrofobico, quale una sospensione di politetrafluoroetilene o

*Mur*

preferibilmente di composti termoplastici, ad esempio polivinilidenfluoruro o copolimero tetrafluororoetilene-esafluoroetilene o perfluoroalcoossi derivati, che possono essere stabilizzati meccanicamente con un trattamento termico a basse temperature compatibili con la stabilità termica delle guarnizioni. Si è trovato che con questi trattamenti termici si ottengono rivestimenti sottili di pochi micron di spessore dotati di buona aderenza e in grado di resistere efficacemente all'azione di dilavamento o erosione da parte dell'acqua liquida.

Il ritrovato è stato descritto facendo riferimento a casi specifici con l'unico scopo di rendere più facilmente comprensibili i principi informatori. E' inteso che tutte le modifiche che gli esperti del campo possono individuare sulla base del presente testo rientrano negli scopi dell'invenzione come definita nelle rivendicazioni che seguono.

---



*MR*

## RIVENDICAZIONI

1. Un generatore elettrochimico costituito da almeno una cella elementare comprendente collettori/distributori di corrente porosi in corrispondenza dell'area attiva e provvista di un dispositivo di alimentazione di gas reattivi e un dispositivo di estrazione dei gas reattivi residui e dei prodotti di reazione, ove le perdite di pressione localizzate nel dispositivo di alimentazione e nel dispositivo di estrazione sono asimmetriche.
2. Il generatore della rivendicazione 1 ove detta perdita di pressione localizzata nel dispositivo di estrazione è sostanzialmente superiore a detta perdita di pressione localizzata nel dispositivo di alimentazione.
3. Il generatore delle rivendicazioni 1 o 2, ove il dispositivo di alimentazione comprende un condotto di alimentazione e almeno un canale di distribuzione e che il dispositivo di estrazione comprende un condotto di estrazione e almeno un canale di raccolta.
4. Il generatore della rivendicazione 3 ove detta perdita di pressione localizzata nel dispositivo di alimentazione è concentrata in detto almeno un canale di distribuzione e detta perdita di pressione localizzata nel dispositivo di estrazione è concentrata in detto almeno un canale di raccolta.
5. Il generatore delle rivendicazioni precedenti ove la pressione nei collettori/distributori di corrente in corrispondenza dell'area attiva è sostanzialmente uguale alla pressione nel dispositivo di alimentazione.
6. Il generatore della rivendicazione 5 ove la pressione nel dispositivo di alimentazione è minore o uguale a 1.5 bar assoluti.



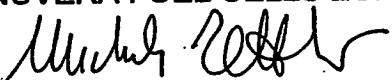
7. Il generatore delle rivendicazioni da 3 a 6 ove detto almeno un canale di raccolta ha una sezione di passaggio sostanzialmente inferiore a quella di detto almeno un canale di distribuzione.
8. Il generatore delle rivendicazioni da 3 a 7 ove detto almeno un canale di raccolta ha una lunghezza sostanzialmente superiore a quella di detto almeno un canale di distribuzione.
9. Il generatore delle rivendicazioni da 3 a 8 che comprende un numero di detti canali di raccolta minore rispetto al numero di detti canali di distribuzione.
10. Il generatore delle rivendicazioni precedenti ove detta almeno una cella elementare comprende guarnizioni di tenuta provviste di fori di centraggio simmetrici rispetto all'asse verticale ed asimmetrici rispetto all'asse orizzontale.
11. Il generatore delle rivendicazioni da 3 a 10 ove detto almeno un canale di raccolta è idrofobizzato.
12. Il generatore della rivendicazione 11 ove detto almeno un canale di raccolta è idrofobizzato mediante applicazione di sospensioni di polimeri fluorurati.
13. Il generatore della rivendicazione 12 ove detti polimeri fluorurati sono scelti dal gruppo formato da politetrafluoroetilene, polivinilidenfluoruro, copolimero tetrafluororoetilene-esafluoroetilene, perfluoroalcossi derivati.
14. Il generatore delle rivendicazioni da 3 a 13 ove detti canali di distribuzione e di raccolta sono ricavati all'interno di guarnizioni di tenuta.
15. Il generatore delle rivendicazioni da 3 a 13 ove detti canali di



distribuzione e di raccolta sono ricavati all'interno di lastre bipolari che delimitano le celle elementari.

16. Un generatore elettrochimico costituito da almeno una cella elementare che comprende le caratteristiche distintive della descrizione e dei disegni.

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

  
Michele Tettamanti, Direttore Generale



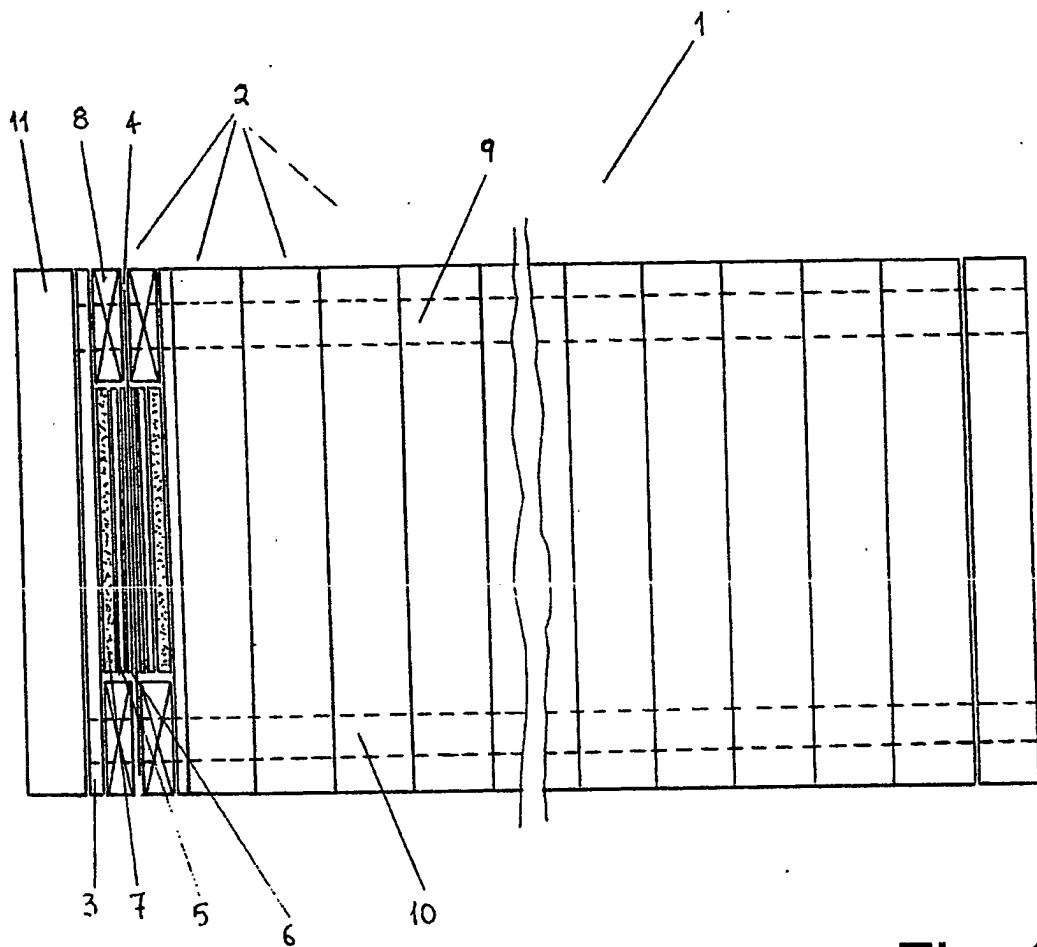
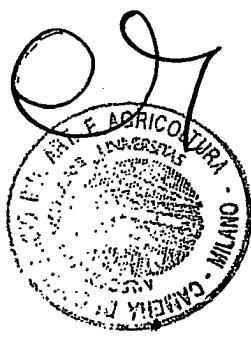


Fig. 1

MI 2002A 002383



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Michele Tettamanti".

Fig. 2A

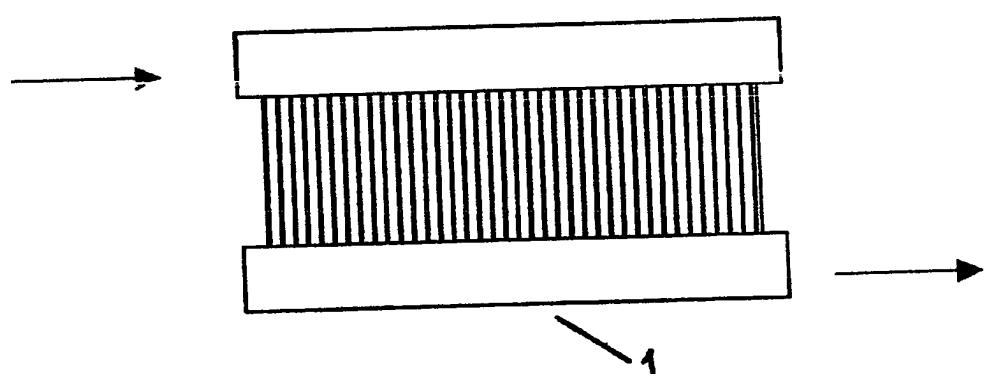
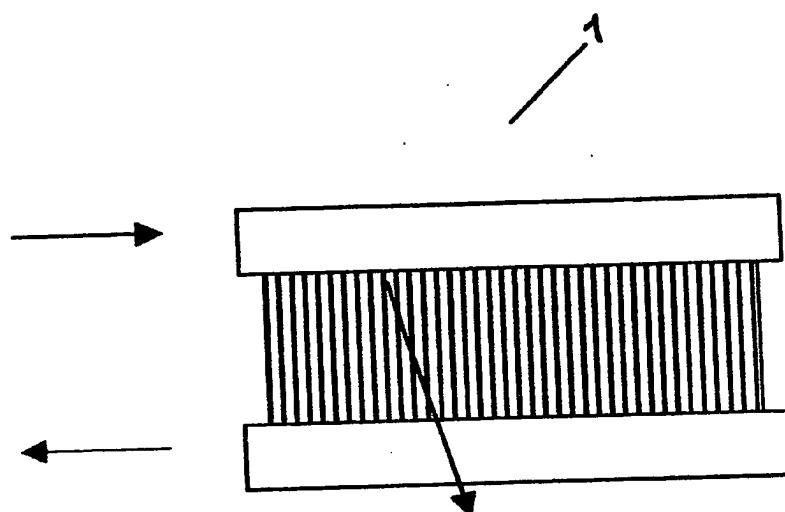
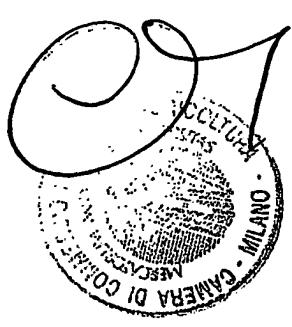


Fig. 2B

MI 2002 A 002383



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

*Michele Tettamanti*

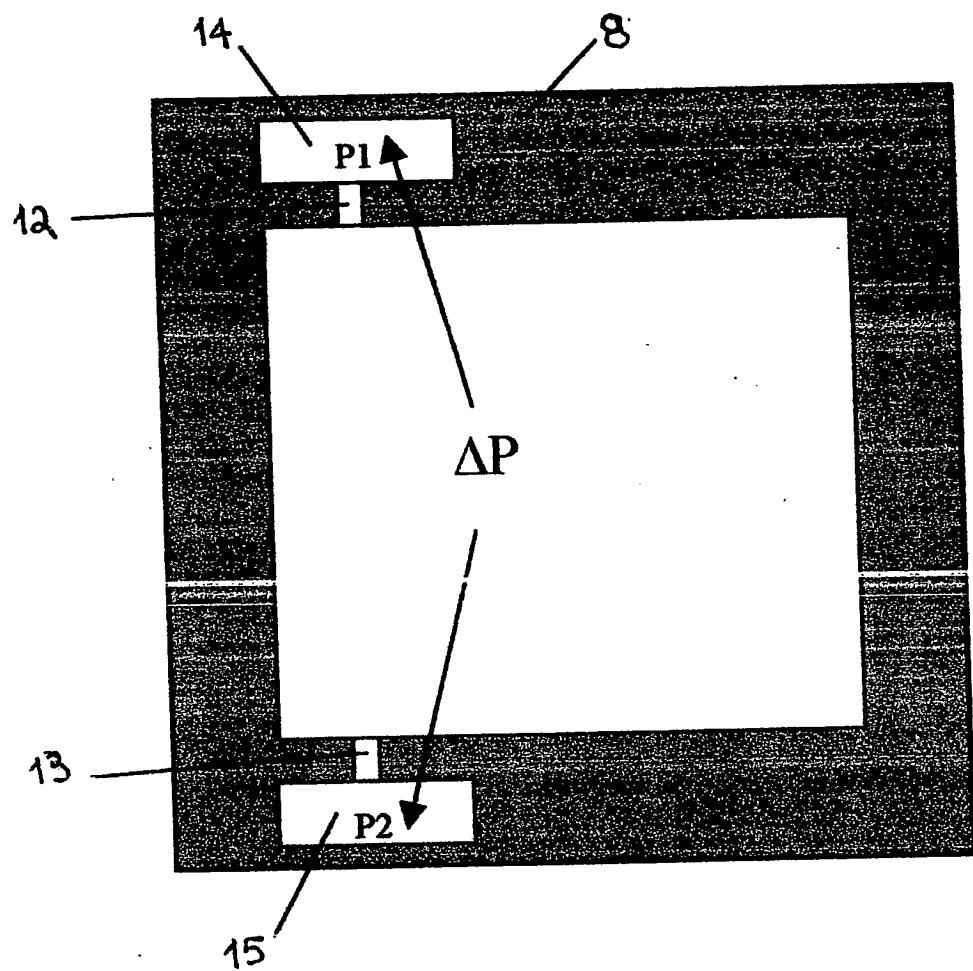
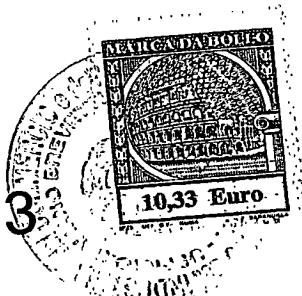
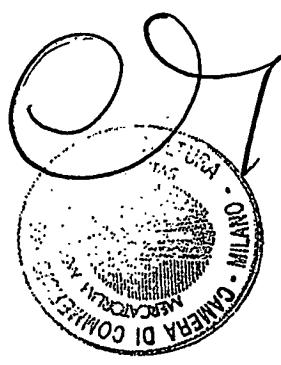


Fig. 3



MI 2002A 002383



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

*Michele Tettamanti*

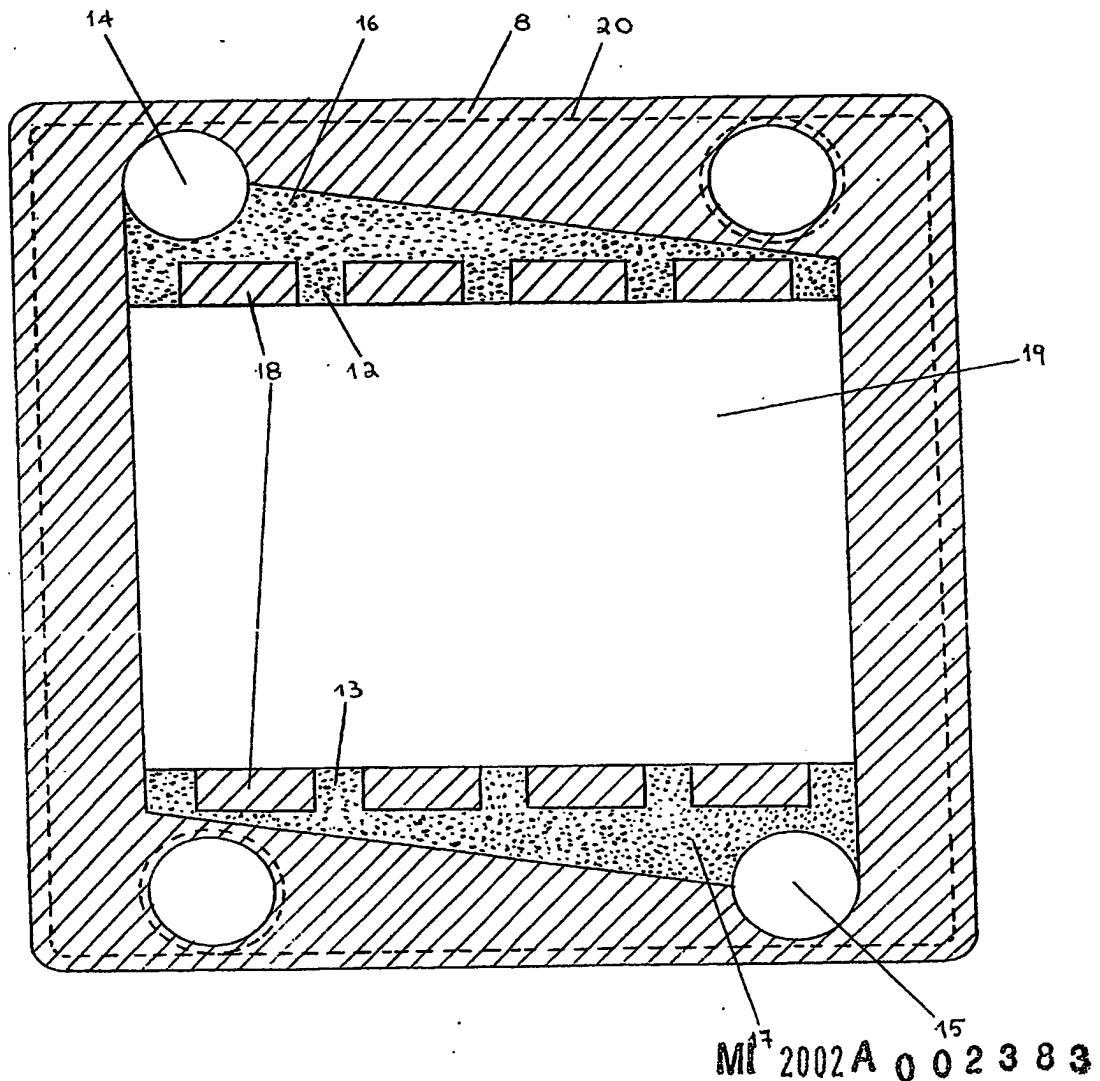
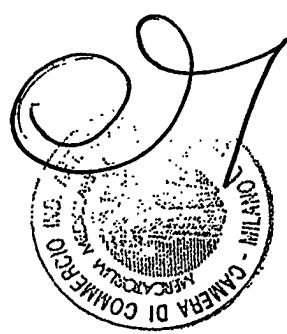


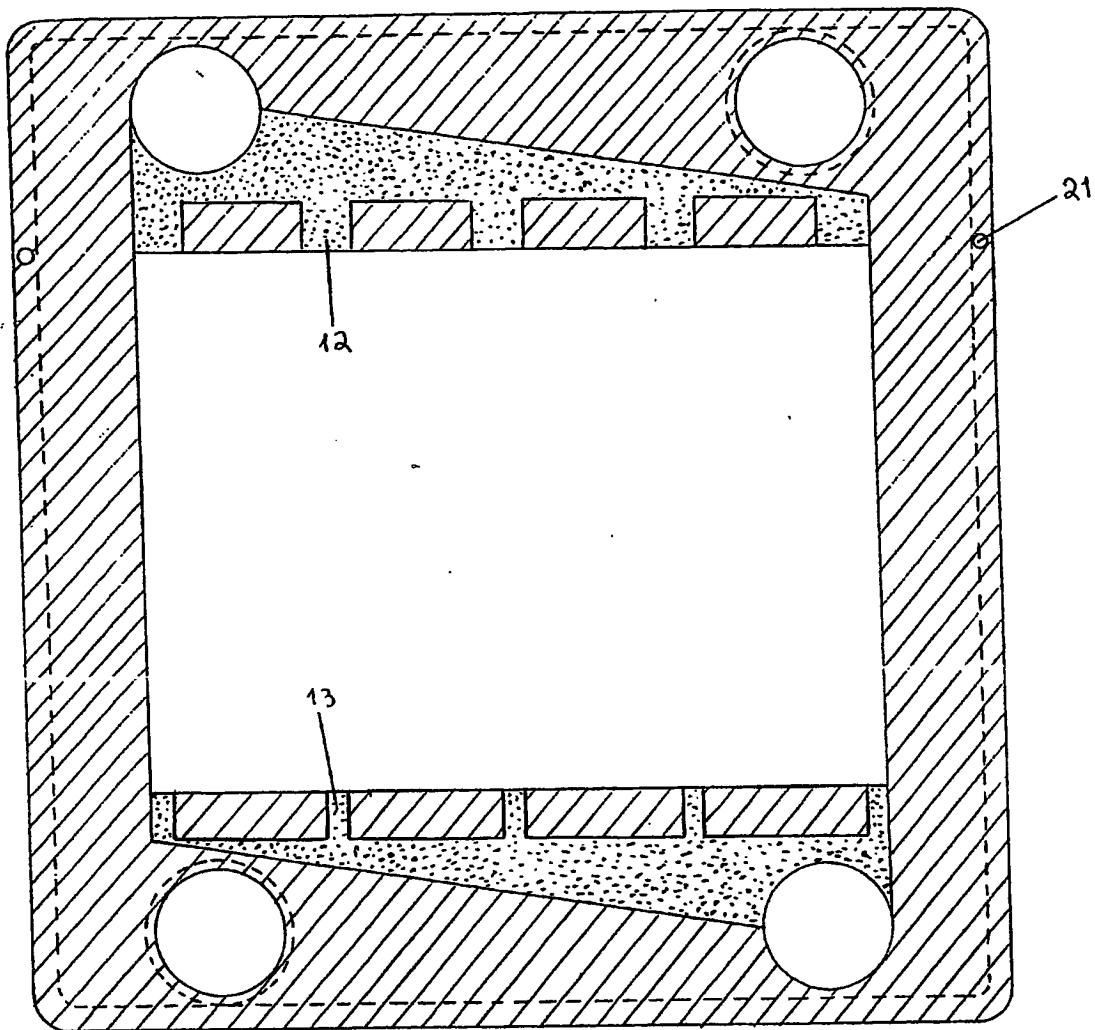
Fig. 4



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Michele Tettamanti'.



MI 2002A 002383

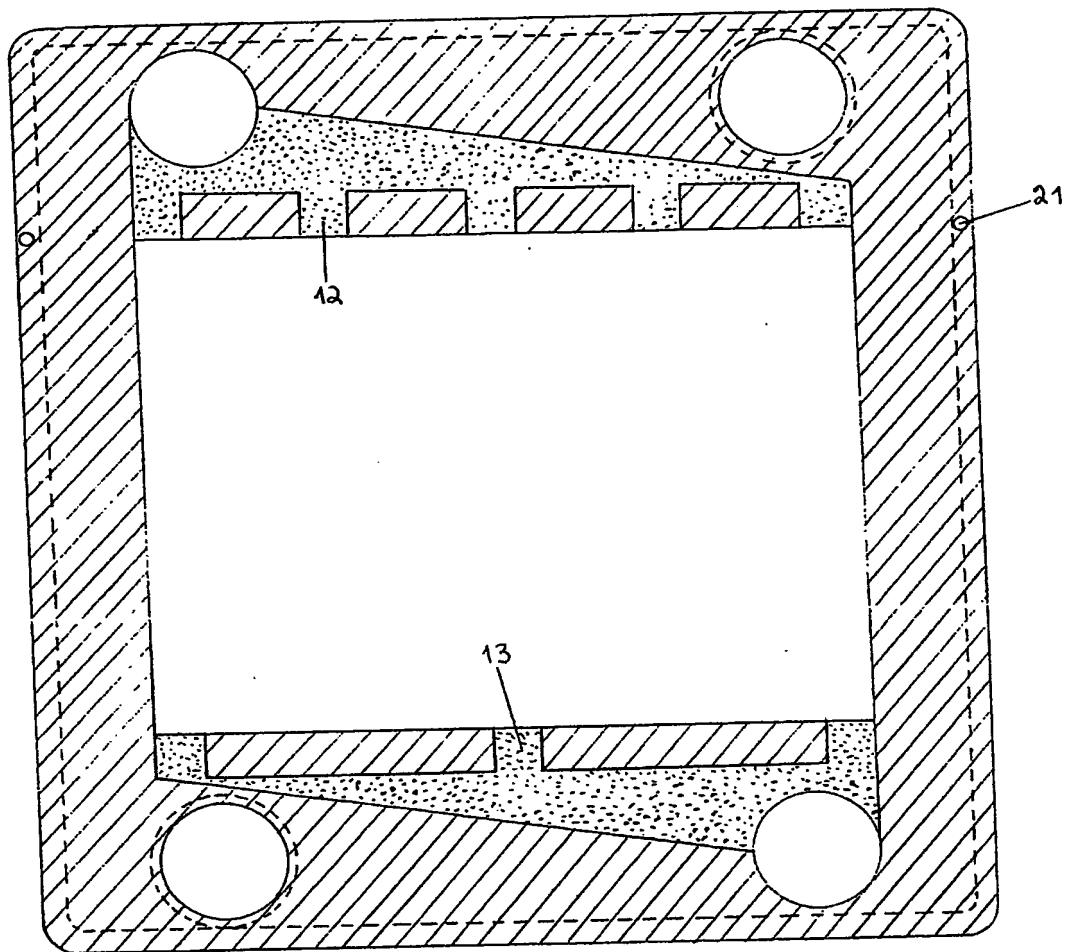
Fig. 5



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

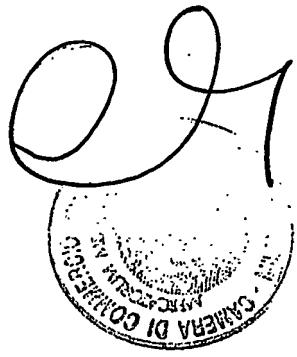
Michele Tettamanti, Direttore Generale

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Michele Tettamanti".



MI 2002A 002383

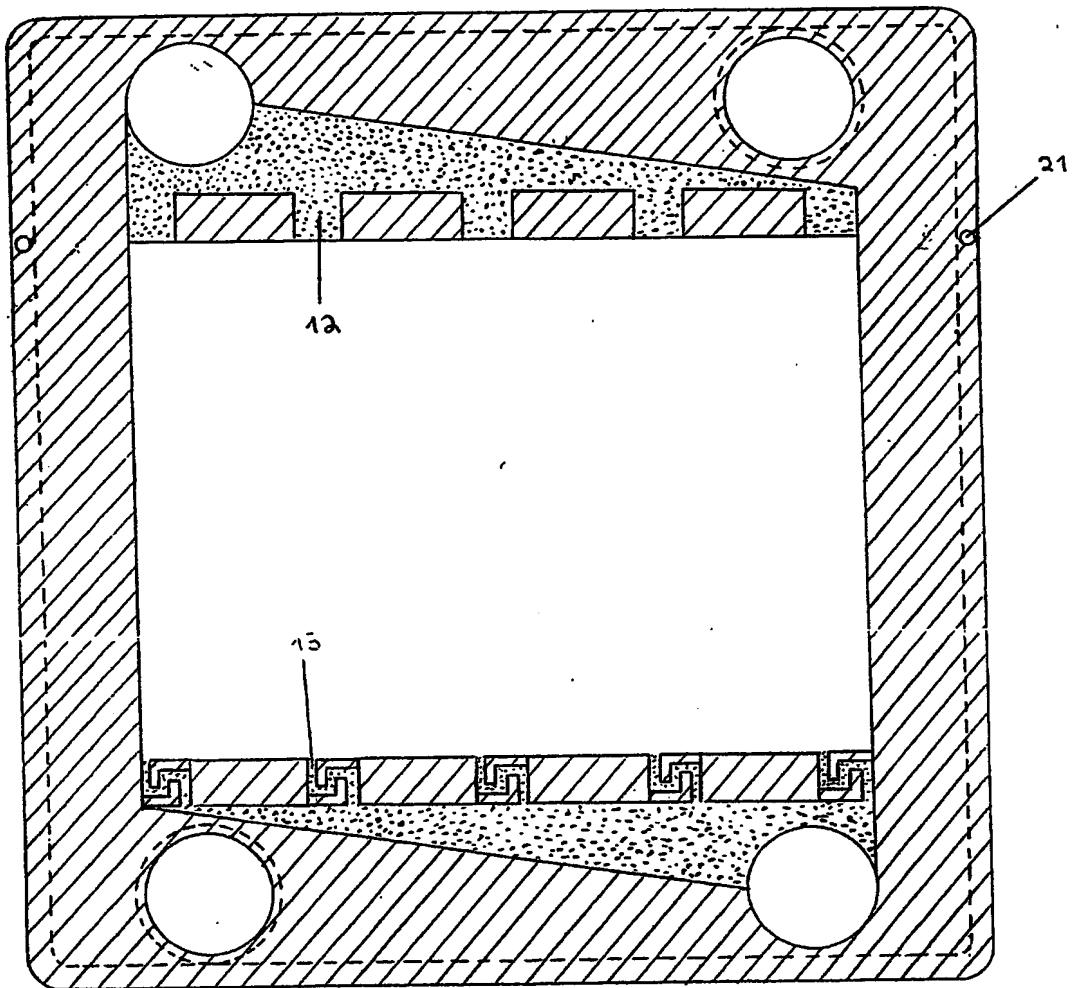
Fig. 6



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

*Michele Tettamanti*



MI 2002 A 0 0 2 3 8 3

Fig. 7

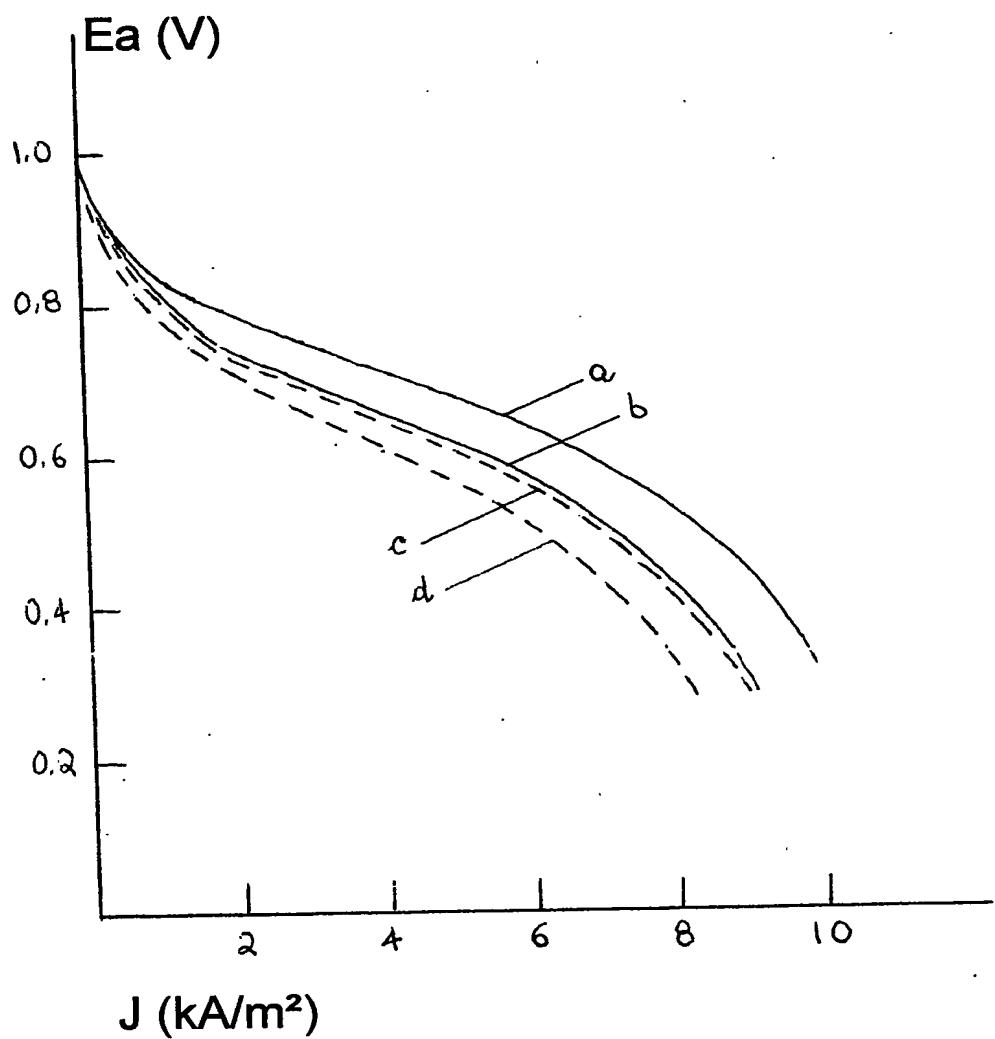
01



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.P.I.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

*Michele Tettamanti*



MI 2002A 002383

Fig. 8

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale